

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Technologie kalení nožů z nástrojových ocelí

Technology of Martempering Tools from Instrumental Steel

Student:

Ondřej Ferzik

Vedoucí Bakalářské práce:

doc. Ing. František Kristofory, CSc.

Ostrava 2009

Touto cestou bych chtěl poděkovat všem, kteří svou pomocí přispěli ke vzniku této práce.
Jmenovitě pak doc. Ing. Františku Kristoforymu, CSc. a Ing. Josefu Hamplovy za odborné
vedení a pomoc při řešení problémů.

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 22. května 2009

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, że Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčním nahlédnutím a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- было с́еднано, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- было с́еднано, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáváním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Ondřej Ferzik
Lukavice, Vlachov 17
789 01 Zábřeh, okr. Šumperk

V Ostravě 22. května 2009

.....

podpis studenta

Anotace bakalářské práce

FERZIK, O.: Technologie kalení nožů z nástrojových ocelí. Ostrava: katedra mechanické technologie, fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009, 48 s. Bakalářská práce vedoucí Kristofory, F.

Bakalářská práce se zabývá technologií kalení nožů z nástrojových ocelí, kontrolou deformací a jejich následným rovnáním.

V úvodu je popis firmy, ve které probíhalo tepelné zpracování a následně teoretická metodika tepelného zpracování. Dále je v práci popsán technologický postup výroby nožů před tepelným zpracováním a samotný technologický postup tepelného zpracování. Z průběhu tohoto technologického postupu byla navržena metodika rovnání a možnosti předcházení prohnutí nože vlivem tepelného zpracování.

Annotation of bachelor thesis

FERZIK, O.: Technology of Martempering Tools from Instrumental Steel. Ostrava: Department of Mechanical Technology, Faculty of Mechanical Engineering VŠB–Technical University of Ostrava, 2009, 48 p. Baccalaureate Work, head: Kristofory, F.

Bachelor's thesis deals with the technology of hardening of instrumental steel knives, with the deformation control and their subsequent straightening.

In the introduction is described the company, where was the heat treatment made and theoretical methodology of heat treatment. Next point describes technological procedure of knives production before heat treatment and the actual process of heat treatment. From the running of technological procedure was designed the methodology of straightening and possibilities of knives camber prevention due to heat treatment.

Obsah

1	Úvod	10
1.1	Charakteristika tepelného zpracování ocelí společností SUB Zábřeh	10
1.1.1	Historie provozu SUB v Zábřehu	10
1.1.2	Stručný profil společnosti SUB Zábřeh [1]	11
1.2	Vybavení kalírny	12
2	Tepelné zpracování nástrojových ocelí [3, 4]	14
2.1	Transformační diagramy [3, 4]	15
2.2	Žihání [3]	16
2.3	Kalení [3]	17
2.4	Popouštění [6]	20
2.5	Příklad postupu základního tepelného zpracování nástrojových ocelí	20
2.6	Technologie ohřevu materiálu [3]	22
2.6.1	Technologické zásady pro ohřev kovu	22
2.6.2	Ochrana materiálu před vlivem prostředí při ohřevu	24
2.6.3	Pece na tepelné zpracování kovů	24
2.6.4	Technologie ochlazování	26
3	Typy materiálu pro výrobu nožů z nástrojových ocelí	27
3.1	Legované nástrojové oceli pro práci za studena	27
4	Experimentální část	29
4.1	Dodaný experimentální materiál	29
4.2	Používané technologické operace před tepelným zpracováním	29
4.3	Obrábění před tepelným zpracováním	30
5	Návrh optimálního technologického postupu kalení nožů	31
5.1.1	Kalení	31
5.1.2	Kontrola rovinnosti	32
5.1.3	Popouštění	33

6	Kontrola dosažených výsledků.....	35
6.1	Metodika měření.....	35
6.1.1	Zkoušky tvrdosti.....	35
6.1.2	Kontrola rovinnosti	37
6.2	Naměřené hodnoty.....	38
6.3	Rovnění nožů.....	44
6.3.1	Rovnění hydraulickým lisem	44
6.3.2	Manuální rovnání nožů.....	45
7	Závěr.....	46

Seznam použitých zkratk a značek

Zkratka	Popis
A_1	Rozpad austenitu na perlit při teplotě 723°C
A_{C1}	Počátek austenitické přeměny
A_{C3}	Konec austenitické přeměny (nad křivkou už pouze čistý austenit)
ARA	Anizotermický rozpad austenitu
B_f	Konec bainitické přeměny
B_s	Počátek bainitické přeměny
HRA, HRB, HRC	Tvrdost podle Rockwella
IRA	Izotermický rozpad austenitu
M_f	Konec přeměny na martenzit
M_s	Počátek přeměny na martenzit
P_f	Konec perlitické přeměny
P_s	Počátek perlitické přeměny

Značky	Popis	Jednotka
α	Součinitel přenosu tepla	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
β	Koeficient objemové roztažnosti	K^{-1}
D	Průměr pece	mm
E	Modul pružnosti	MPa
F	Zátěžová síla	N
h	Hloubka pece	mm
l	Délka nože	mm
R_m	Mez pevnosti	MPa
σ_{\max}	Maximální napětí	MPa
$\checkmark \times H \times V$	Šířka, hloubka a výška pece	mm
t	Teplota pece	°C
Δt	Rozdíl teplot povrchu a jádra	°C
t_j	Teplota jádra	°C
t_o	Teplota ohřevu	°C
t_p	Teplota povrchu	°C

1 Úvod

Požadavkem zadavatele (výrobce nožů z nástrojových ocelí pro tabulové nůžky) na společnost SLOVÁCKÉ STROJÍRNY Uherský Brod, a.s. provoz Zábřeh na Moravě (dále jen SUB Zábřeh) bylo tepelné zpracování pro dosažení požadované tvrdosti a rovinnosti nožů.

Cílem této práce je navrhnutí optimálního technologického postupu pro tepelné zpracování a následné rovnání nožů s co největší efektivností a hospodárností. Z toho důvodu je zapotřebí dobrá znalost materiálů, ze kterých se nože vyrábí, postup předvýroby, trendy tepelného zpracování a dostupné zdroje pro vyřešení dané problematiky.

Tato bakalářská práce pojednává o teoretických základech tepelného zpracování nástrojových ocelí a porovnává je se skutečnými možnostmi firmy SUB Zábřeh. Dále je v práci popsán technologický postup výroby nožů a jejich tepelného zpracování. V experimentální části je kontrola tvrdosti a rovinnosti nožů.

1.1 Charakteristika tepelného zpracování ocelí společností SUB Zábřeh



Obr. 1.1 Letecký snímek areálu SUB Zábřeh

1.1.1 Historie provozu SUB v Zábřehu

Provoz má dlouholetou praxi v oblasti strojírenské výroby. Firmu založili bratři Rýznarové v roce 1927 pod názvem *Elektromotor skrat*. Původně se zabývala výrobou elektromotorů a jejich aplikací v zemědělství a domácnostech. Ještě v období po 2. světové válce byly součástí výrobního programu produkty jako vířivé pračky a vysavače.

Během následujících let (pod obchodním jménem Nová Huť n.p.) se ve firmě vystříдалo několik výrobních programů: od výroby nevýbušných elektropřístrojů pro doly a hutě; důlních lokomotiv (značky ČKD); náhradních dílů pro opravy hutních agregátů; až po výrobu strojních součástí, nástrojů a nářadí.

Další změnou prošla v 90. letech 20. století. Po privatizaci se stala samostatnou firmou NOVÁ HUŤ Zábřeh, a.s.. V roce 2006 došlo k fúzi se společností SLOVÁCKÉ STROJÍRNY, a.s., Uherský Brod a stala se jedním z jejich závodů.

1.1.2 Stručný profil společnosti SUB Zábřeh [1]

Slovácké strojírny, a.s. jsou jednou z nejvýznamnějších průmyslových společností Zlínského kraje s více než padesátiletou tradicí vyspělé strojírenské výroby. Ve společnosti proběhla v devadesátých letech minulého století zásadní změna organizační struktury, která směřovala k jejímu zjednodušení a zvýšení efektivnosti. Do nového tisíciletí vstoupily Slovácké strojírny jako moderní firma plně adaptovaná na konkurenční prostředí tržního hospodářství. Společnost si vytvořila podmínky pro trvalý proces úspory vnitřních nákladů, flexibility výroby, zajištění požadované kvality (ISO 9001_2001) vyráběné produkce a podstatné zvýšení produktivity práce.

Současný výrobní program společnosti navazuje na tradici výroby montážních a požárních plošin, lisů na zpracování technické pryže, speciální techniky a elektrických mostových jeřábů, jejich příslušenství a ocelových konstrukcí.

K hlavním výrobním programům patří výroba a montáž mobilních drtičů kamene, výroba a montáž licích věží a dalších technologických celků pro ocelárny, nůžkových plošin, výroba a montáž strojů pro osazování desek tištěných spojů, hydraulických válců, ekologických kotlů na spalování dřeva, ocelových konstrukcí mobilních jeřábů a silničních stavebních strojů a dalších strojírenských komponentů pro výrobu vysokozdvížných vozíků. Tradice ve výrobě ocelových konstrukcí přispívá k zájmu zahraničních odběratelů o výrobu a dodávky lehkých a středně těžkých svařenců včetně opracování. Největší ocelové konstrukce dosahují kusové hmotnosti až 50 tun. V neposlední řadě nabízí služby tepelného zpracování kovů.

1.2 Vybavení kalírny

Kalírna je vybavena dvěma elektrickými šachtovými pecemi od rakouského výrobce AILCHELIN (viz obr. 1.2).

linka I.: uvedena do provozu 1992;

slouží pro nitridování, cementování, kalení a popouštění oceli, které vyžadují zpracování v ochranné atmosféře;

- rozměry pecí D/h (mm) 700/1500;
- maximální teplota 960°C;
- způsob kalení – olejová lázeň;
- ochranná atmosféra – dusík (N_2).

linka II.: uvedena do provozu 1996;

slouží pro cementování, kalení a popouštění oceli, které vyžadují zpracování v ochranné atmosféře

- rozměry pecí D/h (mm) 700/2000
- maximální teplota 960°C
- způsob kalení – olejová lázeň
- ochranná atmosféra – dusík (N_2)



Obr. 1.2 Šachtové pece AILCHELIN

Linky jsou složeny vždy ze dvou pecí a sdružené olejové lázně. V první peci se provádí ohřev max. 960°C (kalení, cementování, nitridování), v druhé peci probíhá ohřev max.

700°C (popouštění, žíhání), olejová lázeň na 11.000 litrů oleje (rychlo-kalící olej DURIXOL_WH7). Mimo budovu je dále umístěn zásobník na 6000 litrů tekutého dusíku.

Obě linky jsou řízeny pomocí počítače, na kterém lze provést i simulace některých operací jako třeba nitridace.

Tab. 1.1 Vybavení kalírny, rozměry pecí

druh	množství (ks)	rozměr Š x H x V (mm)
Elektrické vozové pece	1	1000x1500x500
	2	1000x2000x1000
	1	2000x3500x1500
Komorové pece	3	500x800x300

Elektrické vozové pece bez ochranné atmosféry (rozměry viz tab. 1.1) výrobce Realisic Karlovy Vary. Maximální teplota těchto pecí 1100°C. Ochlazování vsázky probíhá v oleji, nebo vodě (voda vychladá ve venkovních nádržích a poté je opětovně využívána). Tyto pece se využívají pro kalení, žíhání i popouštění pouze za předpokladu, že není třeba k procesu ochranné atmosféry.

Komorové pece bez ochranné atmosféry s maximální teplotou ohřevu 1000°C (rozměry viz tab. 1.1). Povrchové kalení rotačních i rovinných součástí zajišťují baterie kyslíko-acetylenových hořáků.



a)



b)

Obr. 1.3 Elektrické odporové pece [2]; a) vozíková, b) komorová

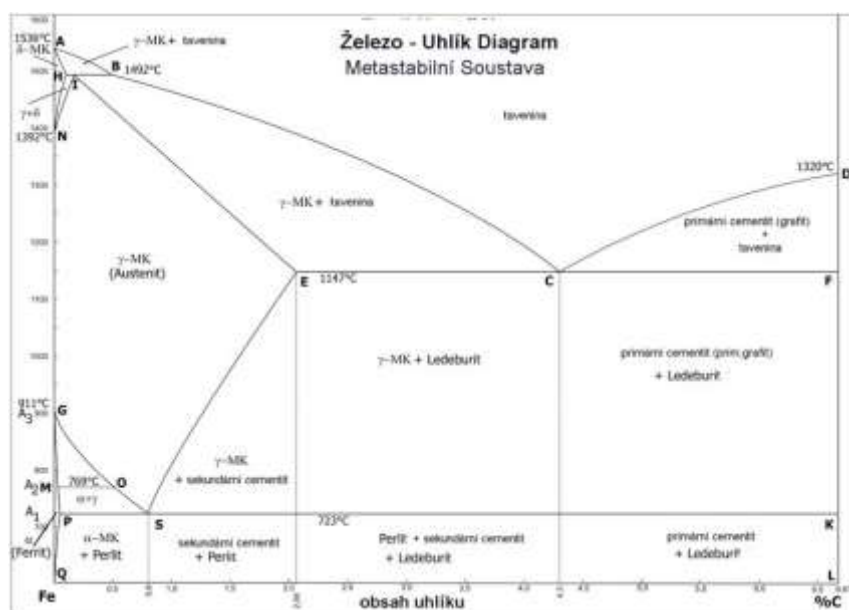
2 Tepelné zpracování nástrojových ocelí [3, 4]

Tepelné zpracování kovů se dá definovat jako ovládnutí průběhu fázových a strukturních přeměn řízením vnějších podmínek. Podmínkou je znalost kinetiky a mechanismu fázových přeměn v tuhém stavu. Cílem tepelného zpracování kovových materiálů je úprava mechanických, fyzikálních, chemických, nebo technologických vlastností výrobku. Zpracování materiálu danými metodami musí být ekonomické.

Většina ocelí jsou polymorfní slitiny, u nichž se využívá fázových přeměn v tuhém stavu. Důležitá je znalost rovnovážných diagramů, obzvláště metastabilního diagramu $Fe - Fe_3C$ (viz obr. 2.1), dále transformačních diagramů IRA a ARA. Tepelné zpracování dělíme do skupin:

- žíhání
- kalení
- popouštění
- kombinované tepelné zpracování
- tepelně-mechanické zpracování
- chemicko-tepelné zpracování

Podle stupně tepelného zpracování ocelí, při kterém dochází ke změnám tvrdosti materiálu, lze dosáhnout obsáhlé škály mechanických vlastností.



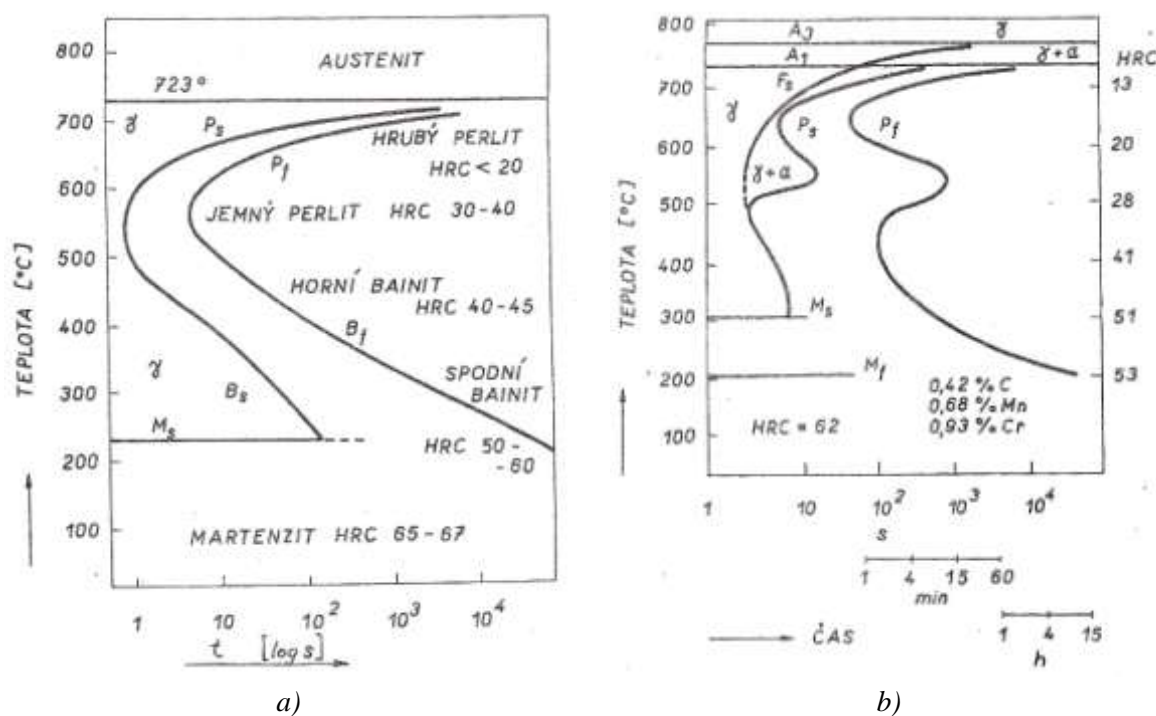
Obr. 2.1 Metastabilní diagram $Fe - Fe_3C$ [5]

2.1 Transformační diagramy [3, 4]

Na rozdíl od rovnovážných diagramů jsou transformační diagramy vždy určeny pro jednotlivý typ oceli. Udávají vliv teploty na průběh přeměny a zachycují faktor rychlosti ochlazování, což je jeden z hlavních činitelů při tepelném zpracování. U tepelného zpracování ocelí nachází velký význam přeměny austenitu při různých rychlostech ochlazování.

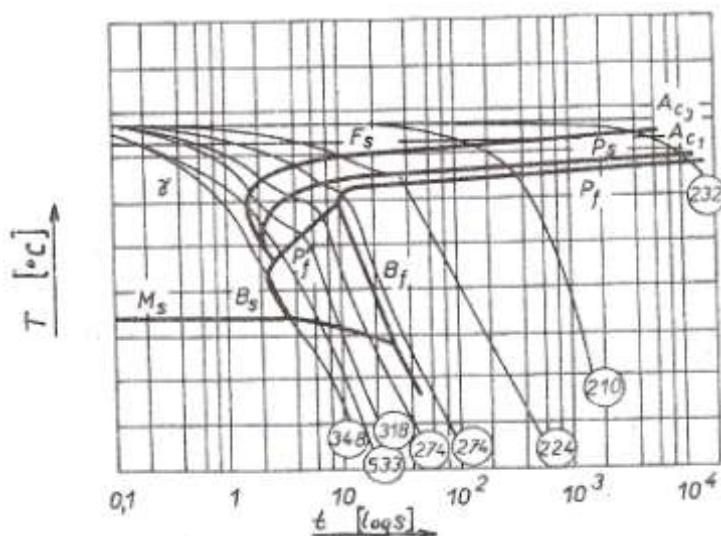
Existují dva druhy transformačních diagramů:

- a) Izotermický rozpad austenitu (IRA, obr. 2.2) - jedná se o přehled o rozpadu přechlazeného austenitu při konstantní teplotě. Na tvar a polohu křivek IRA diagramu má vliv zejména složení oceli, velikost austenitického zrna a jeho homogenita.



Obr. 2.2 Diagram IRA [3]; a) eutektoidní oceli, b) podektoidní legované oceli

- b) Anizotermický rozpad austenitu (ARA, obr. 2.3) - udává stavy při plynulém ochlazování potřebné pro přeměnu austenitu při různých ochlazovacích rychlostech. Přeměny austenitu jsou exotermické pochody, proto křivky ochlazování mohou za vhodných ochlazovacích podmínek vykazovat různé anomálie. Jednotlivé oblasti přeměn se mohou překrývat, nebo mohou být od sebe odloučeny.



Obr. 2.3 ARA diagram podeutkoidní oceli 0,44% C [3]

2.2 Žihání [3]

Cílem procesu žihání je dosažení jisté úrovně rovnovážného stavu materiálu. Podstatou žihání je ohřev na určitou teplotu, dlouhé setrvání na této teplotě a ochlazování poměrně malou rychlostí. Existují různé druhy žihání, a to bez překrystalizace, s překrystalizací a izotermické.

Bez překrystalizace

Fázová struktura oceli se nemění, u polymorfních ocelí je horní teplotou A_1 , jediná změna, ke které dochází, je rozpad uhlíku ve feritu. Dále děleno na:

- rekrytalizační – odstranění zpevnění při tváření za studena teplota 550–650°C, výdrž cca 5 hodin
- ke snížení pnutí – teplota 450 – 600°C, výdrž 1 – 2 hodiny
- na měkko – získání dobře obrobitelné struktury;
podeutkoidní oceli se žihají na teplotu těsně pod A_{C1} (tj. 620–680°C) a výdrž 4-8 hodin, ochlazování se nejčastěji odehrává v peci;
nadeutkoidní oceli se žihají na teploty těsně nad A_{C1}

S překrystalizací

Při tomto druhu žihání dochází k úplné přeměně feritu a perlitu v austenit. Teploty se pohybují nad křivkou A_{C3} . Tímto způsobem žihání odstraňujeme strukturní nepravidelnosti, zapříčiněné předchozími technologiemi manipulujícími s materiálem. Při ochlazování se rozpadá austenit na struktury blízké rovnovážnému stavu.

Druhy:

- normalizační - jedná se o nejčastěji využívaný postup, při kterém se dosahuje jemné rovnovážné struktury, tvořené feritem a perlitem, s příznivými mechanickými vlastnostmi. Teplota žíhání je přibližně 50–80°C nad A_{C3} , výdrž 1-4 hodiny, ochlazení probíhá přirozenou konvekci na vzduchu;
- homogenizační - slouží k potlačení chemické heterogenity difuzí při teplotách 1000–1200°C po dobu 12 – 15 hodin, ochlazení pomalu v peci. Po tomto žíhání obvykle „zhrubne“ zrna, proto následuje normalizační žíhání.

Izotermické

Podstatou je austenitizace materiálu a následné ochlazení na teplotu přeměny v perlit a výdrž na této teplotě. Po přeměně se vsázka nechá vychladnout na vzduchu. Cílem je dosažení dobře obrobitelné struktury u slitinových ocelí.

2.3 Kalení [3]

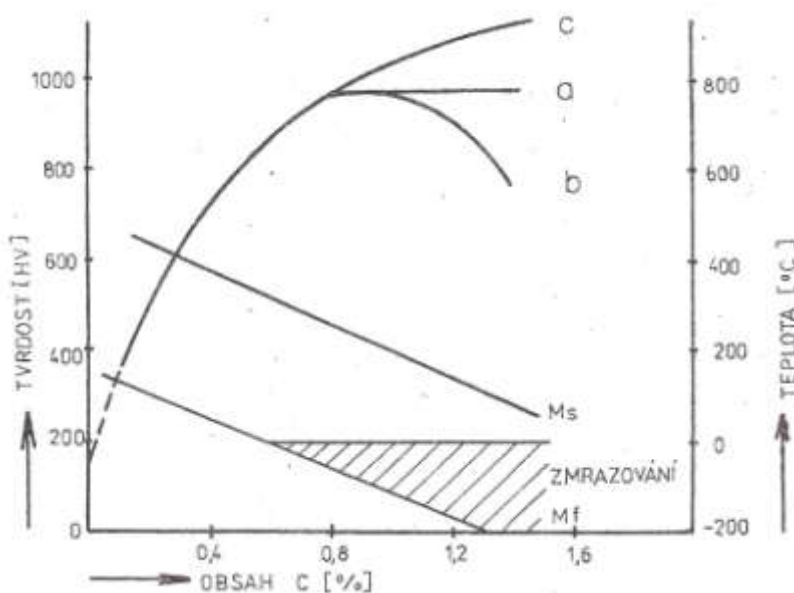
Podstatou kalení je dosažení nerovnovážné struktury oceli. Podle složky, která v oceli po zakalení převažuje, se kalení dělí na Martenzitické a Bainitické. Při hodnocení tohoto nerovnovážného stavu se pak setkáme se dvěma pojmy, a to **zakalitelnost** a **prokalitelnost**.

Zakalitelnost oceli – jedná se o maximální dosažitelnou tvrdost martenzitu, která je závislá na obsahu uhlíku.

Prokalitelnost oceli – jde o vlastnost materiálu udržet si i po kalení jistý stupeň tvrdosti, odpovídající zakalitelnosti, nebo smluvní hodnotu (např. 50% martenzitu ve struktuře) v určité hloubce prokaleného materiálu. Prokalitelnost se nejčastěji ověřuje Jominyho čelní zkouškou dle ČSN 42 0447.

Volba způsobu kalení závisí na rozměrech materiálu, mechanických a fyzikálních vlastnostech a druhu kalené oceli.

Volba způsobu kalení je závislá na rozměrech materiálu, druhu kalené oceli, mechanických a fyzikálních vlastnostech dané oceli. Volba způsobu kalení závisí na rozměrech materiálu, mechanických a fyzikálních vlastnostech a druhu kalené oceli.



Obr. 2.4 Vliv obsahu uhlíku na výslednou tvrdost oceli po zakalení [3]

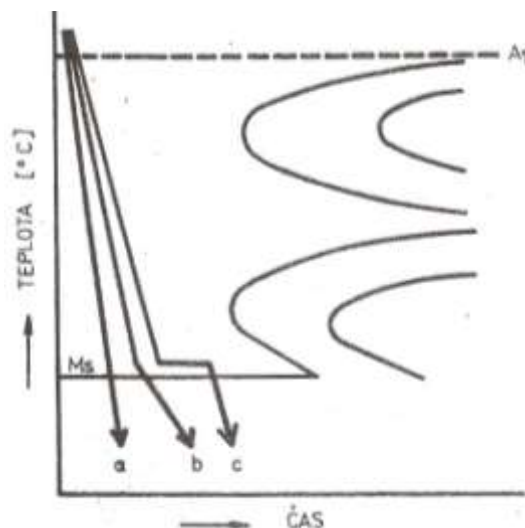
a – po kalení z teplot nad A_{C1} ;

b – po kalení z teplot nad A_{cm} (zbytkový austenit);

c – tvrdost krystalu martenzitu

Martenzitické kalení

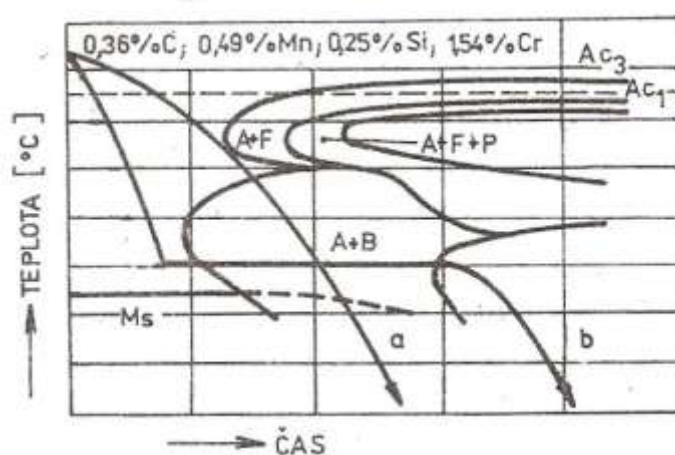
- Přímé jedná se o kalení s ochlazením v jednom prostředí (voda, olej, vzduch). Tímto druhem kalení vznikají velká vnitřní pnutí.
- Lomené (přerušované), při tomto způsobu kalení se předmět chladí ve dvou prostředích (voda → olej, olej → vzduch). Tento druh kalení nachází využití u tvarově rozměrných, či složitých předmětů (zápustky, klikové hřídele), které vyžadují rychlé průběhy ochlazování v oblasti perlitické přeměny.
- Termální jde o kalení do lázně, která je ohřátá na teplotu těsně nad M_s . Na této teplotě setrvává, dokud se vnitřní teplota neustálí po celém průřezu kaleného materiálu, kdy opět následuje ochlazování (nejčastěji na vzduchu). Tento druh je vhodný pro legované oceli, tenkostěnné menší a tvarově složitější výrobky.
- Se zmrazováním zakalený předmět se v co nejkratší době přenesení do prostředí pod bodem mrazu (prostředí s tekutým dusíkem). Cílem je snížit nebo úplně odstranit zbytkový austenit ve struktuře. Využívá se při výrobě měřidel, přesných ložisek,...



Obr. 2.5 Způsob kalení [3]
(a) přímé; (b) lomené; (c) termální

Bainitické kalení

- anizotermické (přímé) kalení -jde použít u ocelí, které mají bainitickou oblast výrazně posunutou vlevo. Po zakalení vznikne směs bainitu a martenzitu.
- izotermické zušlechťování -při tomto procesu se předmět uvede do stavu austenitizace, pak se rychle přeneso do lázně, která má teplotu v oblasti bainitu (300–400°C). V lázni je předmět ponechán tak dlouho, dokud se nepřemění austenit v bainit, poté je ochlazován (na vzduchu). Nejčastěji používáno u nízkolegovaných ocelí se střední prokalitelností.



Obr. 2.6 Bainitické kalení [3]
(a) anizotermické; (b) izotermické

- Povrchové kalení -účelem je zvýšit tvrdost povrchu při současném zachování houževnatosti jádra. Proces se z důvodu nutnosti rychlého ohřevu provádí nejčastěji plamenem nebo indukčně, aby se (vzhledem k hloubce vniku) co nejméně tepla dostalo k jádru předmětu. Ohříván je pouze povrch součásti.
- Jednorázový ohřev se používá u menších předmětů.
- Postupný ohřev a kalení: u větších předmětů se povrch současně ohřívá a kalí (vodní sprchou).
- Při povrchovém kalení se zvyšuje austenizační teplota a to až o 200 °C. To je důvod změny transformačního diagramu, teploty přeměn se posouvají k vyšším teplotám. Při plamenném ohřevu a postupném kalení dosahujeme zakalené vrstvy ~1,5 mm, u indukčního ohřevu $\sim(1\div 6)$ mm.

2.4 Popouštění [6]

Součást po kalení je křehká a náchylná na prasknutí, proto je nutné provést popouštění. Popouštěcí teplota se volí podle požadované tvrdosti a dalších mechanických vlastností (houževnatost, únavová pevnost,...). Ohřev má být pozvolný s dostatečným setrváním na popouštěcí teplotě, aby se zaručily přeměny v celém průřezu.

Podle teploty popouštění se proces provádí ve vodě, v olejové lázni, solných nebo kovových lázních, v pískových lázních, na kovových deskách nebo trnech.

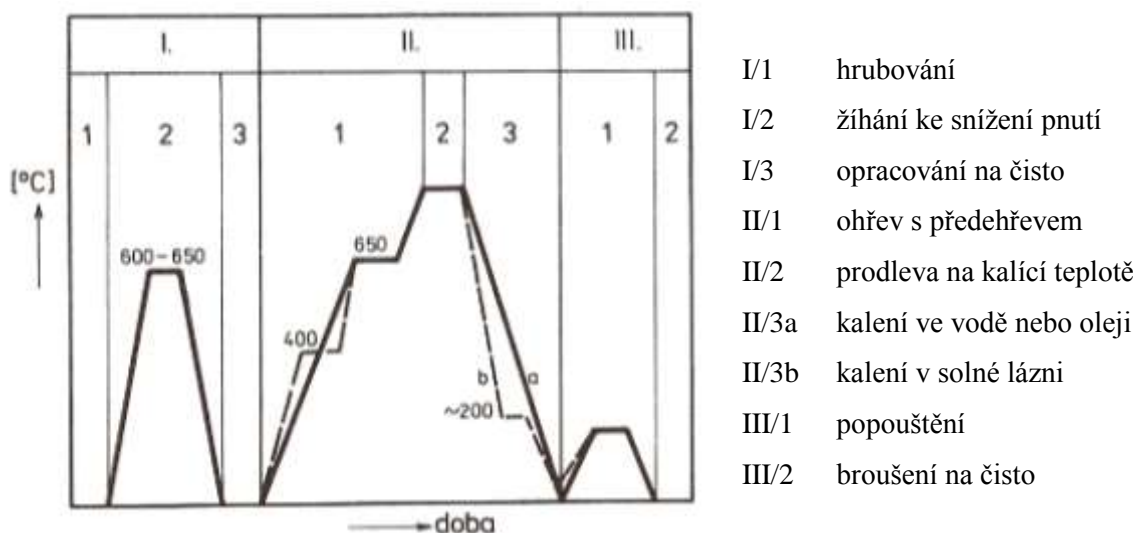
2.5 Příklad postupu základního tepelného zpracování nástrojových ocelí

Následující diagramy zobrazují schéma celého procesu tepelného zpracování nástrojových ocelí. Základní schéma (obr. 2.7 až obr. 2.9) tepelného zpracování členíme na tři etapy, a to:

- žíhání na snížení pnutí (po hrubování)
- ohřev na kalicí teplotu, prodleva na této teplotě, ochlazení
- popouštění

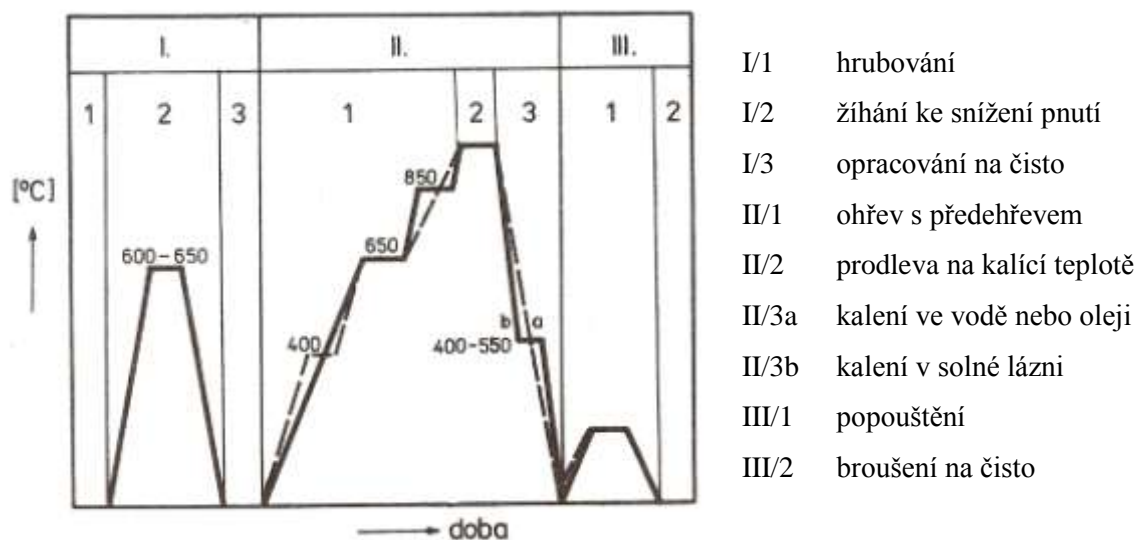
Při tepelném zpracování výrobků z uhlíkových a legovaných ocelí s kalicí teplotou do 900°C (viz obr. 2.7) se volí jednostupňový předehřev a to při 650°C. Obvyklé je kontinuální ochlazování ve vodě nebo oleji (dle druhu oceli). Tvarově složité předměty se doporučuje ochlazovat v solných lázních (pokud to průběh rozpadu austenitu dovoluje) s teplotou mírně

nad počátkem martenzitické přeměny (křivka Ms obvykle 200 až 300°C). Popouštění pak nejčastěji probíhá za nízkých teplot.

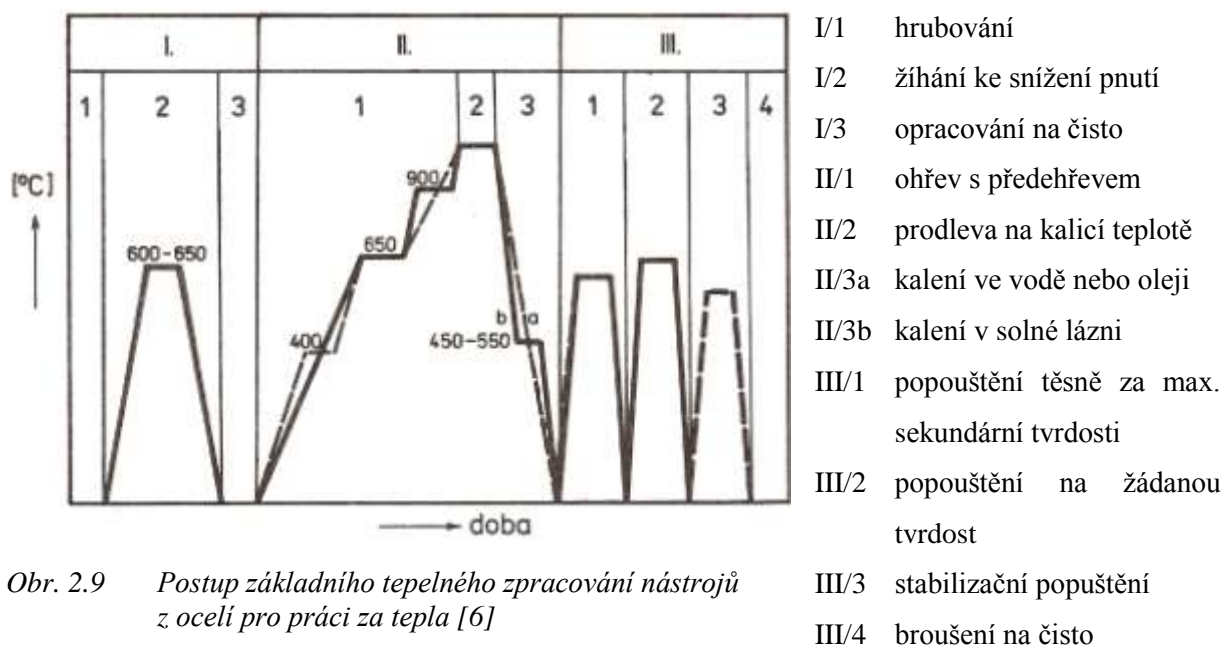


Obr. 2.7 Postup základního tepelného zpracování nástrojů z uhlíkových a legovaných ocelí pro práci za studena s kalicí teplotou do 900°C [6]

Tepelné zpracování pro kalicí teploty nad 900°C se liší jen ve stupňovitosti předehřevu (dvou a více stupňové, obr. 2.8). Do procesu tepelného zpracování výrobků pro práce zatepla (viz obr. 2.9) je zařazeno stupňovité ochlazování a násobné popouštění.



Obr. 2.8 Postup základního tepelného zpracování nástrojů z uhlíkových a legovaných ocelí pro práci za studena s kalicí teplotou nad 900°C [6]



Obr. 2.9 Postup základního tepelného zpracování nástrojů z ocelí pro práci za tepla [6]

2.6 Technologie ohřevu materiálu [3]

Požadavkem je ohřev výrobku na teplotu dané pracovní operace:

- s tolerancí odchylky teplotního pole v průřezu materiálu
- minimální zoxidování povrchu a oduhličení
- zabránění vzniku trhlin
- s minimální energií

Během ohřevu dochází k vnější výměně tepla (vyzdívka → vsázka). Dále k vnitřní výměně tepla, kde teplo z povrchu vsázky prostupuje do jádra.

2.6.1 Technologické zásady pro ohřev kovu

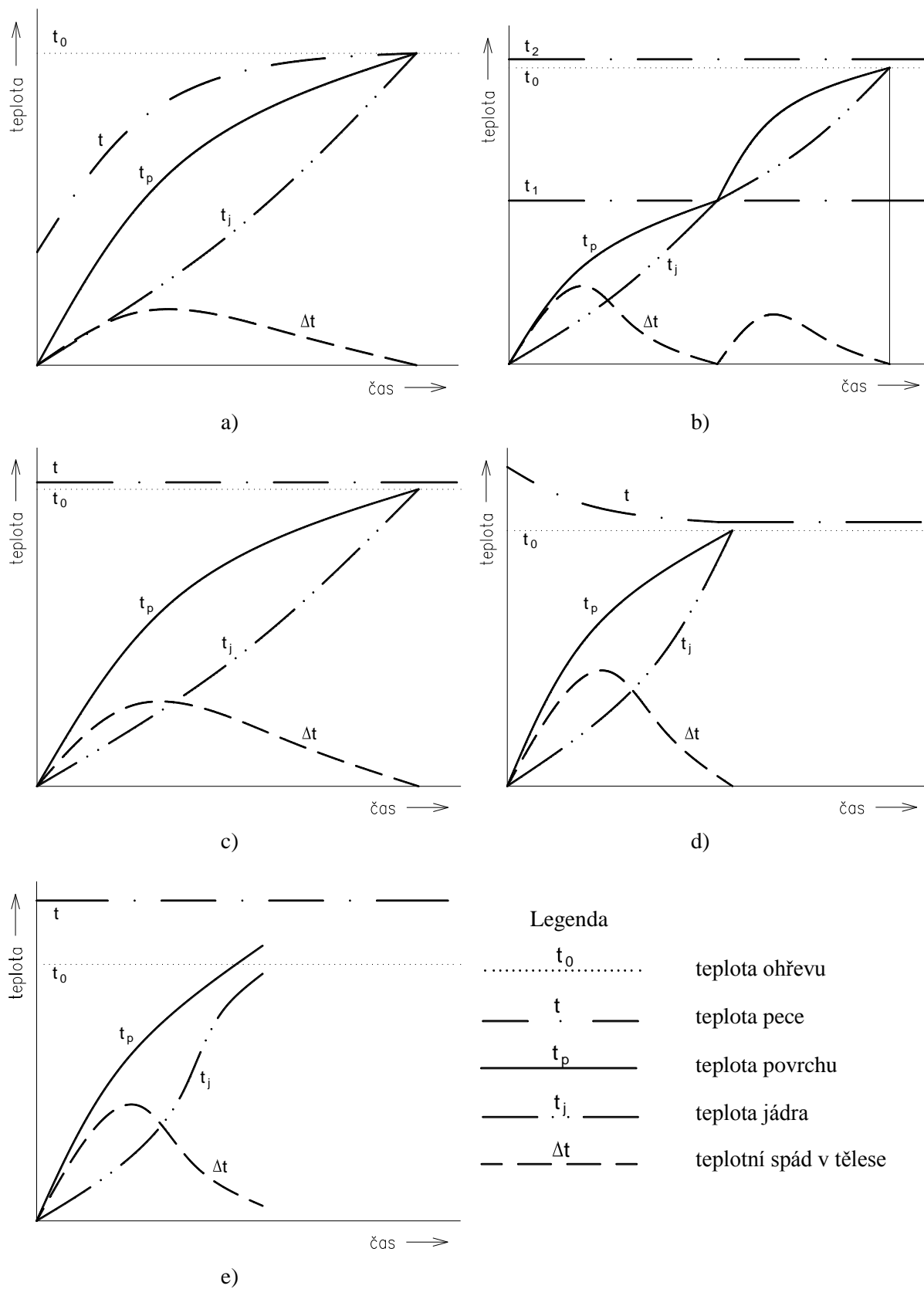
Ohřevem součásti vznikají vnitřní pnutí důsledkem rozdílu teplot na povrchu a v jádru součásti a mikroobjemů.

Vnitřní pnutí omezuje rychlost ohřevu. Dovolená rychlost ohřevu se udává vztahem (2.1).

$$v_{dov} = \frac{2,1 \cdot \alpha \cdot \sigma_{max}}{\beta \cdot E \cdot l^2} \quad (2.1)$$

Výpočet napětí σ_{max} se udává vztahem (2.2).

$$\sigma_{max} = \frac{R_m}{\mu} \text{ pro } \mu = 2 \quad (2.2)$$



Obr. 2.10 Režimy ohřevu vsázky [3];
 a) pomalý, b) stupňovitý, c) normální, d) zrychlený, e) rychlý

Režimy ohřevu (viz obr. 2.10):

- a) pomalý ohřev – vsázka vložena do chladné pece a postupný ohřev
- b) stupňovitý ohřev – ohřev probíhá ve dvou pecích
- c) normální ohřev – pec je vyhřátá na teplotu o něco vyšší než je teplota operace a udržuje se konstantní
- d) zrychlený ohřev – pec je ohřátá na mnohem vyšší teplotu, než je teplota operace
- e) rychlý ohřev – teplota pece je vyšší, ohřev se reguluje dobou setrvání vsázky v peci (průběžné pece)

2.6.2 Ochrana materiálu před vlivem prostředí při ohřevu

U materiálu ohřevem vzniká: - oxidace
- oduhličení

Ke snížení propalu využíváme:

- změnu tepelného režimu pece
- spalování paliva s minimem přebytku vzduchu
- zkrácení doby ohřevu, obzvlášť nad 900°C
- utěsnění pece a udržení přetlaku v peci

Ochranné atmosféry

- vytvoření umělého plynného prostředí
- ohřev ve vakuu
- ohřev v lázni

2.6.3 Pece na tepelné zpracování kovů

Jsou rozličných druhů konstrukcí s různými zdroji energie. Celý prostor pece má být snadno tepelně regulovatelný, definovatelný, rovnoměrně vyhříváný, lehce ovladatelný, nenáročný na údržbu a hlavně hospodárný.

Při volbě pece dbáme na:

- poměr při tepelném zpracování (závislost teploty vsázky na čase)
- přesnost a regulaci teploty
- prostředí potřebné pro ohřev a ochlazování
- výrobní program
- dostupnost zdrojů energie
- požadavky na mechanizaci (automatizaci)

- rozdělení pecí pro tepelné zpracování kovů
- podle zdroje energie a druhu využití

Elektrické pece

Ohřev do teploty 1400°C, příkon 10–200 kW, výkon 10–200 kg·h⁻¹·m⁻², vnitřní rozměry šířka 200–2000 mm, výška 150–1400 mm, délka 300–4000 mm.

Plynové pece

Ohřev nad teplotu 1600°C, nevýhodou je toxicita a nebezpečí výbuchu použitého paliva (koksárenský plyn, svítiplyn,...).

Pece na kapalná paliva

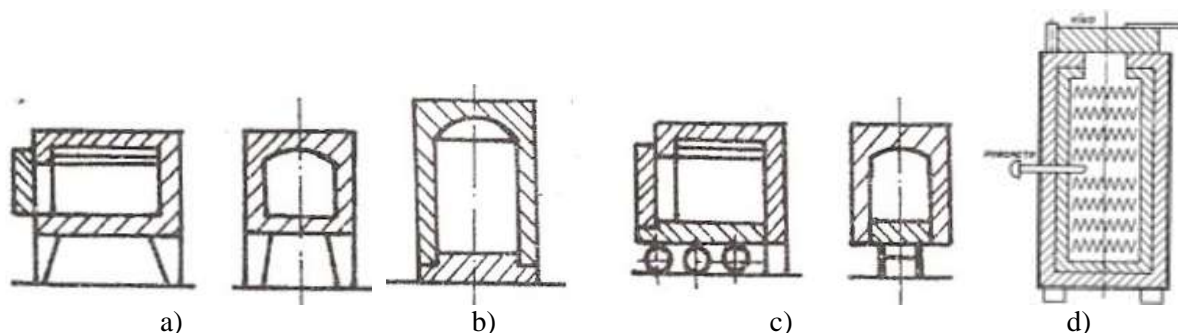
Jsou obtížně regulovatelné, jejich nevýhodou jsou vysoká hlučnost, zápach paliva, avšak práce při vysokých teplotách.

Pece na pevná paliva

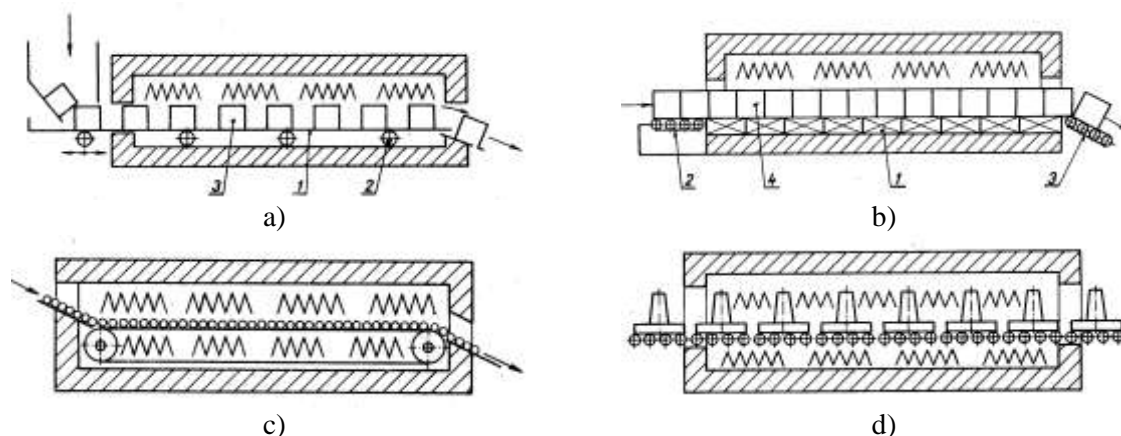
Málo používány pro velmi špatnou regulovatelnost a nestejnoměrnost ohřevu. Využívají se nejčastěji v kombinaci s plynovými generátory na prášková paliva.

Pece dále dělíme podle:

- použití kalící pece
 - žíhací pece
 - popouštěcí pece
 - pece na chemicko – tepelné zpracování
- podle konstrukčních znaků
 - komorové (viz obr. 2.11)
 - průběžné (viz obr. 2.12)



Obr. 2.11 Příklad komorových pecí na tepelné zpracování kovů [3]
 a) komorová; b) poklopová; c) vozíková; d) šachtová

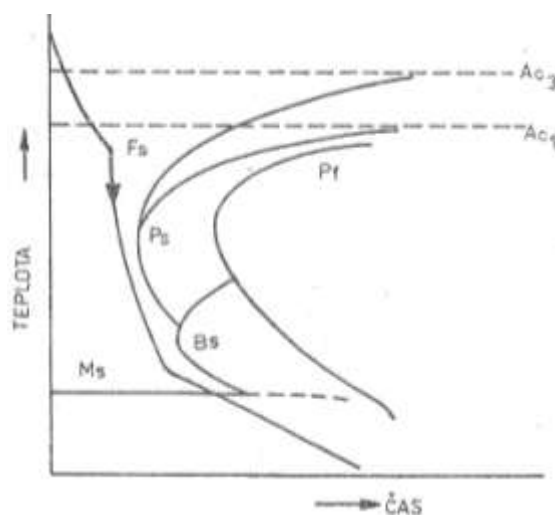


Obr. 2.12 Příklad průběžných pecí na tepelné zpracování kovů
a) setřásací; b) narážecí; c) dopravníková; d) tunelová

2.6.4 Technologie ochlazování

Chladicí prostředí a jeho intenzita se volí podle druhu tepelného procesu a zpracovávaného materiálu (např. pro kalení uhlíkových ocelí se používá, kvůli jejich vysoké kritické ochlazovací rychlosti, intenzivní prostředí, a to voda nebo vodní roztoky).

Oceli s nižší kritickou rychlostí ochlazování (legované oceli) postačí ochlazovat v mírnějších prostředích (např. olej, nebo vzduch). Ideální křivka ochlazování je znázorněna na obr. 2.13.



Obr. 2.13 Průběh ideální křivky při ochlazování [3]

Její tvar udává diagram ARA dané oceli, průběh je vesměs monotónní. Ideální křivka ochlazování by měla procházet nedaleko oblastí s difuzními přeměnami austenitu a u teploty Ms již jen pozvolně klesat. S ohledem na ochlazovací schopnosti a vznik vnitřních pnutí, by ochlazovací prostředí mělo být značně účinné v oblasti perlitické přeměny (650-550°C) a nižší v oblasti martenzitické přeměny (pod 350°C).

3 Typy materiálu pro výrobu nožů z nástrojových ocelí

Nože se vyrábí z nástrojových ocelí třídy 19 (a to 19 312, 19 313, 19 452, 19733). Pro správné použití se musí zvolit odpovídající druh oceli (práce za studena, práce za tepla,...), s ohledem na úkony, které na ní budou prováděny (obrábění, tepelné zpracování,...). Dále ocel musí mít jistý stupeň mechanických a chemických vlastností. Z takto nastíněných požadavků se poté vyhledá u výrobců odpovídající ocel vhodná pro výrobu.

3.1 Legované nástrojové oceli pro práci za studena

Oceli pro práci za studena se používají pro takové technologické postupy, při kterých teplota nástroje dlouhodobě nepřekročí $\sim 300^{\circ}\text{C}$. Od nástrojů se požaduje zejména vysoká tvrdost a odolnost proti opotřebení, rozměrová stálost a dostatečná houževnatost. Vzhledem k požadované vysoké tvrdosti a odolnosti proti opotřebení jsou nástrojové oceli pro práci za studena převážně oceli nadeutektoidní, případně ledeburitické, používané ve stavu po zakalení a popouštění při nízké teplotě, obvykle $100\text{--}400^{\circ}\text{C}$. [7]

Tab. 3.1 Chemické složení a charakteristika vybraných ocelí [6]

Označení ČSN	Chemické složení [%]								Charakteristika	Třída odpadu ČSN 42 0030
	C	Mn	Si	Cr	W	Ni	Mo	V		
19 312	0,80	2,00	-	-	-	-	-	0,15	Mn-V nízkolegovaná ocel ke kalení v oleji, se střední prokalitelností a malými rozměrovými změnami	002
19 313	0,85	1,90	-	0,30	-	-	-	0,15	Mn-Cr-V nízkolegovaná ocel ke kalení v oleji, se střední prokalitelností a malými rozměrovými změnami	002
19 452	0,60	-	1,70	0,85	-	-	-	-	Si-Cr nízkolegovaná ocel ke kalení v oleji, se střední prokalitelností a zvětšenou houževnatostí	001
19 733	0,57	-	1,00	1,10	1,95	-	-	-	W-Cr-Si nízkolegovaná ocel ke kalení v oleji, se střední prokalitelností a zvětšenou houževnatostí	091.2

Tab. 3.2 Vlastnosti vybraných legovaných ocelí pro práci za studena (fyzikální a jiné) [6]

Označení ČSN	Měrná hmotnost [g.cm ⁻³]	Teploty přeměn ¹⁾ [°C]			Tepelná vodivost při 20°C [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]		Tepelná roztažnost při 20–100°C α.10 ⁶		Třída obrobitelnosti stav žíhaný
		Ac ₁	Ac ₃	Ms	stav žíhaný	stav kalený a popouštěný ²⁾	stav žíhaný	stav kalený a popouštěný ²⁾	
19 312	7,84	710	730	195	38,5	31,0	13,4	14,3	11b
19 313		730	750	180					
19 452	7,80	740	830	260	31,0	29,7	12,7	13,4	
19 733	7,87	780	800	310	29,3	28,5	12,4	13,1	12b

Poznámky: 1) u oceli nadeutektoidní: Ac₁ = Ac_{1p}; Ac₃ = Ac_{1k}
2) popouštění při 200 °C

Legované oceli jsou běžně využívanou skupinou materiálů pro nástroje pracující za studena. Nejčastěji používanými legurami pro tento druh oceli jsou karbidotvorné (chrom, wolfram, molybden, vanad, někdy nikl, mangan a křemík). Vlastnosti materiálu a chemické složení jsou uvedeny v tab. 3.1, 3.2 a 3.3.

Tab. 3.3 Vlastnosti vybraných nástrojových ocelí pro práci za studena, charakteristické použití [6]

Označení ČSN	Kalicí prostředí	Vlastnosti							Použití ve skupinách na nástroje pro
		Tvrdost po kalení	Prokalitelnost	Rozměrové změny při tepelném zpracování	Odolnost proti opotřebení	Odolnost proti tlakovému namáhání	Houževnatost	Obrobitelnost	
		ca [HRC] ca [mm]							
19 312	Olej	63	35 ¹⁾	velmi malé	Menší	zvětšená	zvětšená	dobrá	stříhání, tváření, formy, měřidla, ruční nástroje
19 313		64	40 ²⁾		Dobrá				
19 452		60	40	malé		dobrá		Velmi dobrá	obrábění nekovů, stříhání a tváření za studena i tepla, formy, ruční nástroje
19 733		60 ²⁾	50						obrábění nekovu, stříhání, tváření, ruční a pneumatické nástroje
Poznámky: 1) zakalená vrstva větších rozměrů než je uvedeno, může být nepravidelná a místně mít nižší tvrdost, zejména na větších hladkých plochách 2) tvrdost po kalení je značně závislá na hmotnosti a velikosti nástroje									

4 Experimentální část

V současné době při tepelném zpracování nožů pro tabulové nůžky dochází k jejich deformaci. Proto jsem byl požádán pracovníky SUB Zábřeh o navržení technologického postupu tepelného zpracování, při kterém by docházelo k minimálním deformacím. Popřípadě navrhnout postup vedoucí k odstranění vzniklých deformací.

4.1 Dodaný experimentální materiál

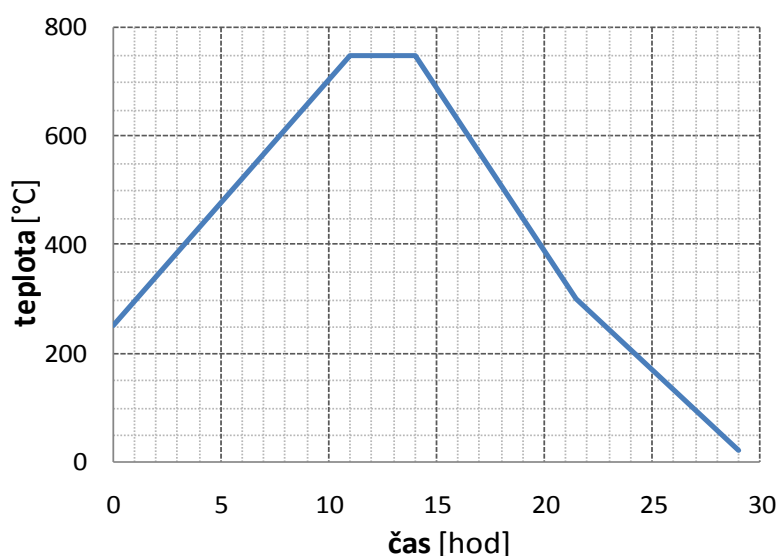
Zákazník dodal k experimentu 6 ks polotovarů nožů z nástrojové oceli (19 452 viz obr 4.1). S požadavkem na tepelné zpracování.



Obr. 4.1 Polotovar nože pro tabulové nůžky (délky 640mm)

4.2 Používané technologické operace před tepelným zpracováním

Pro zlepšení obrobitelnosti se výrobky žíhají na měkko. Žihání na měkko (viz obr. 4.2) probíhá v peci s ochranou dusíkovou atmosférou (N_2). Ohřev vsázky pece je $50^\circ\text{C}/\text{hod}$. Pec je předehřátá na teplotu 250°C , ohřev se vykonává až do teploty 750°C , na které pak setrvává 4 hodiny. Potom následuje pomalé ochlazování v peci na teplotu 300°C (s rychlostí $50\text{--}60^\circ\text{C}/\text{hod}$), výrobky jsou přitom ve svislé poloze. Na konec se vsázka nechá vychladnout volně na vzduchu.



Obr. 4.2 Průběh teplot v závislosti na čase při žihání na měkko

4.3 Obrábění před tepelným zpracováním

- Dělení materiálu

K dělení se nejčastěji užívají pásové pily, řeže se z kovaných bloků s přídkem 5 mm na čistý rozměr. Pro snížení deformací v průběhu výroby nožů je třeba zajistit, aby řezání probíhalo kolmo na směr válcování.

- Hrubovací práce

Uřezané polotovary se ofrézují na finální tvar s technologickým přídkem 3 mm na rozměr. Rovinné plochy se hoblují s přesností $\pm 0,3$ mm

- Frézování a vrtání

Před kalením se nůž vyfrézuje s přídkem na broušení 1 mm na plochu s tolerancí $\pm 0,1$ mm. Na čisto se vyvrtají otvory pro zápusné šrouby, respektive závitové díry.

5 Návrh optimálního technologického postupu kalení nožů

Nože pro tabulové nůžky jsou dodávány nejčastěji z materiálů uvedených v tab. 5.1.

Tab. 5.1 Kalicí teploty vybraných ocelí

třída oceli	teplota (°C)
19 312	800
19 313	800
19 452	850
19 733	930

Po nastudování veškerých teoretických podkladů a na základě konzultací s pracovníky SUB Zábřeh jsem navrhl následující technologický postup pro dodanou ocel 19 452. V průběhu mé činnosti na této práci jiné druhy ocelí nebyly k dispozici.

Před kalením jsem nechal nože našaržovat ve svislé poloze do koše, všech šest kusů. Tímto se stvořila vsázka, která se vkládala do kalicí linky (s šachtovou pecí a kalicí lázní).



a)



b)

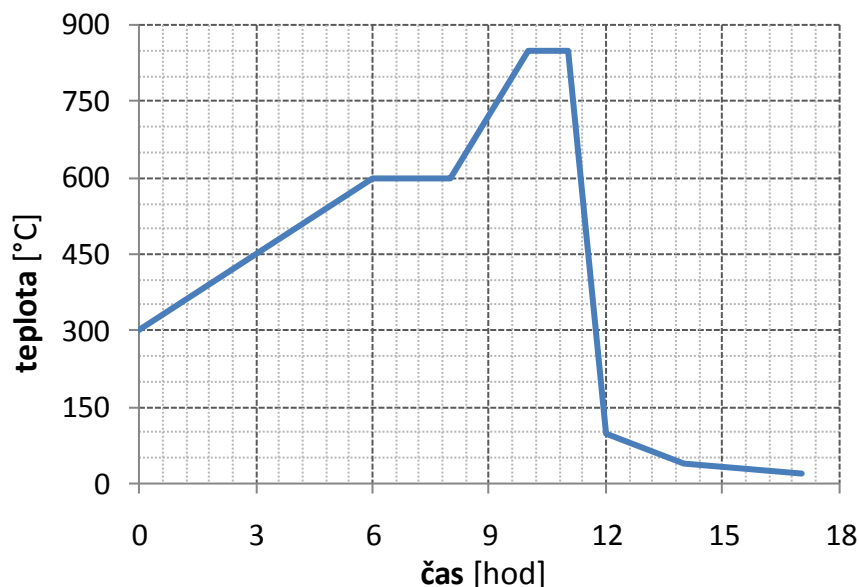
Obr. 5.1 Ukázka upevnění (šaržování) nožů;
a) před osazením, b) osazený koš

5.1.1 Kalení

Kalicí pec doporučuji předeheřt na teplotu 300°C. Pak rychlostí ohřevu 50°C/hod v první fázi předeheřt vsázku na teplotu 600°C. Na této teplotě setrvat dvě hodiny, aby došlo k úplnému prohřátí vsázky.

Ve druhé fázi zvýšit rychlost ohřevu na 100°C/hod, až se dosáhne kalicí teploty 850°C, na které se setrvá jednu hodinu.

Doporučuji kalení do olejové lázně, kdy se olej ohřeje na 70-80°C. Vsázka se do olejové lázně ponoří na jednu hodinu. Po vytažení z lázně se koš s noži musí odstavit na dvě hodiny na odkapovací vanu. Kde dojde k pozvolnému ochlazování vsázky na přípustnou teplotu ($< 40^{\circ}\text{C}$), která je potřebná pro proces odmaštění. Na závěr se našaržovaný koš vloží do odmašťovací linky. Navržený proces kalení viz obr. 5.2.



Obr. 5.2 Průběh teplot v závislosti na čase při kalení do oleje

5.1.2 Kontrola rovinnosti

Po kalení jsem zařadil kontrolu rovinnosti. Pokud se nůž dostal svojí deformací mimo smluvený limit 0,8 mm. Je možné deformace (průhyb těla nože) odstranit za pomoci následného popouštění a přípravku (viz obr. 5.3) využívaného v kalárně pro rovnání dlouhých částí. V takovém případě navrhuji připevnit nůž do přípravku s předpětím 0,5 mm a vrátit do koše na vsázku. Metodiku měření nože jsem prováděl podle postupu popsaneho níže v kapitole 6.1.2.

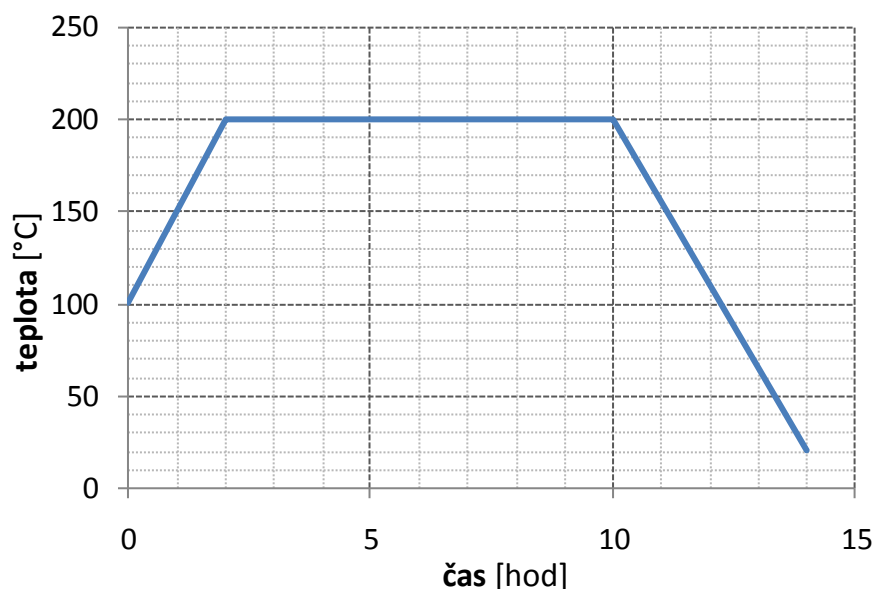


Obr. 5.3 Přípravek pro rovnání dlouhých součástí.

5.1.3 Popouštění

Parametry pro popouštění jsem volil dle požadavku zákazníka na tvrdost, které má být dosaženo. Pro můj experimentální proces jsem zvolil popouštění nožů z nástrojové oceli (19 452) na teplotu 200°C pro dosažení požadované tvrdosti 58 -1 HRC.

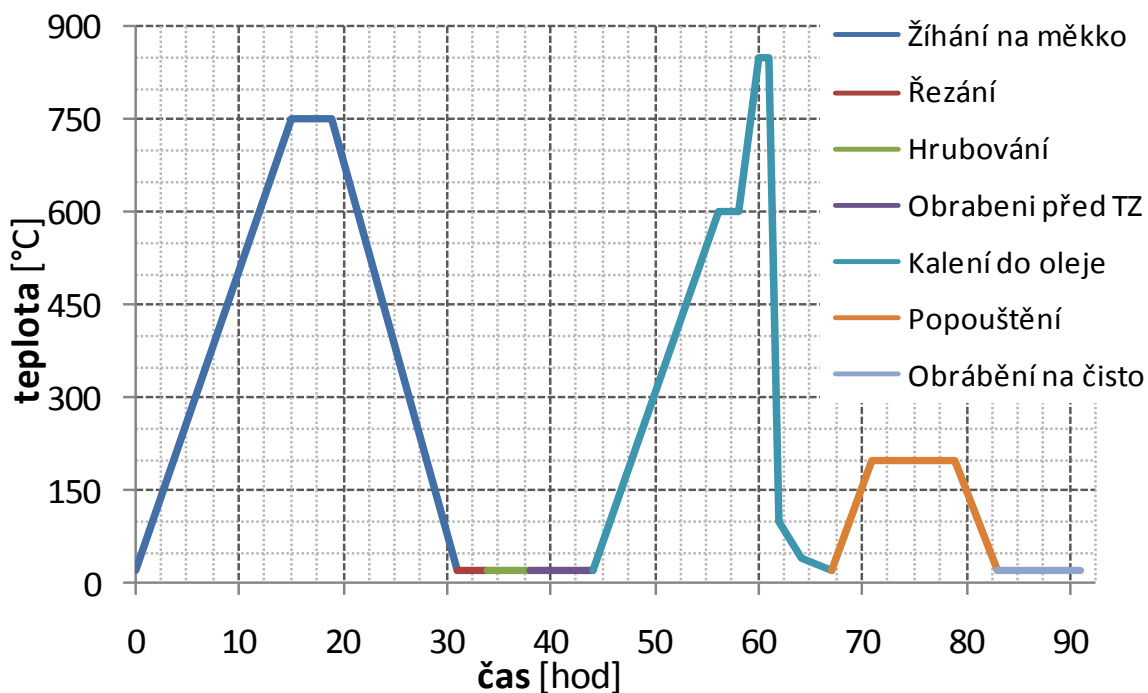
Vsázku jsme zakládali do popouštěcí pece, kterou jsem nechal přehřát na teplotu 100°C, poté s rychlostí ohřevu 50°C/hod, ohřev na popouštěcí teplotu 200°C, z výdrží na teplotě po dobu 8 hodin. Pak se vsázka nechala pozvolna vychladnout v popouštěcí peci rychlostí cca 50 - 60°C/hod.



Obr. 5.4 Průběh teplot v závislosti na čase při popouštění na 200°C

Po vychladnutí následuje kontrolní měření tvrdosti viz kapitola 6.1.1. V případě nedosažení povolené tolerance tvrdosti nože, navrhuji po konzultaci s vedoucím tepelného zpracování v SUB Zábřeh zopakovat bod popouštění ještě jednou. Při druhém popouštění je základní teplota 190°C, může se však úměrně k tvrdosti zvyšovat (vychází cca 10°C na 1 HRC). Po druhém popouštění je již tvrdost 100% tzn. odpovídá kladeným požadavkům. Vsázku všech šesti nožů se však povedlo popustit na přípustnou mez hned v prvním popouštění.

Pro názornost uvádím příklad graficky vyjádřeného reálného technologického postupu pro výrobu nožů pro tabulové nůžky (délky 640mm). Tento postup zahrnuje nutné technologické operace od základního materiálu, až po finální obrobek.



Obr. 5.5 Příklad průběhu teplot v závislosti na čase během technologického procesu výroby nožů

6 Kontrola dosažených výsledků

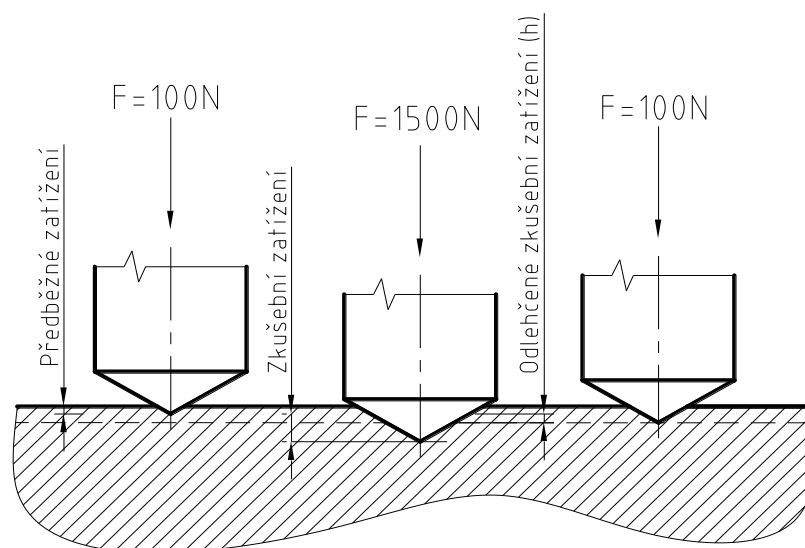
6.1 Metodika měření

6.1.1 Zkoušky tvrdosti

Zkouška tvrdosti se provádí podle normy ČSN EN ISO 6508-1 (zkouška tvrdosti podle Rockwella). Průběh zkoušky udává norma ČSN EN ISO 2639.

- Princip přístroje

Tvrdost podle Rockwella se zjišťuje na Rockwellově tvrdoměru, jako rozdíl hloubky vtisku vnikacího tělesa (ocelová kulička, diamantový kužel) mezi dvěma stupni zatížení předběžného a celkového (viz obr. 6.1). Účelem předběžného zatížení je vyloučit z měřené hloubky nepřesnosti povrchových ploch. Kužel má vrcholový úhel 120° a poloměr kulové části 0,2 mm (HRA, HRC).



Obr. 6.1 Princip zkoušky podle Rockwella; HRC

Diamantový kužel nebo ocelová kulička, dotýkající se povrchu zkoušeného předmětu, se nejprve předběžně zatíží silou 100 N, tím je určena výchozí poloha pro měření hloubky vtisku. Potom se pozvolna zvětšuje zatěžovací síla tak, aby bylo dosaženo normou předepsané zatížení za 3 až 6 sekund (např. předběžné zatížení silou 100 N a zkušební zatížení silou 1400 N, celkové zatížení silou 1500 N). Pak se zatěžovací síla opět snižuje až na 100 N, v tomto stavu se zjistí přírůstek h hloubky vtisku, který nastal proti výchozí poloze při 100 N.

Zkouška tvrdosti podle Rockwella je rychlá, snadná a vpichy (důlky) jsou velmi malé (max. hloubka 0,2 mm). Je vhodná pro běžnou kontrolu velkých sérií výrobků a tam, kde tvrdost podle Brinella již není použitelná.

V České republice jsou používány (normalizovány) tři zkoušky tvrdosti podle Rockwella, tvrdost zjištěnou při těchto zkouškách označujeme **HRA**, **HRB**, **HRC**. Volba Rockwellovy stupnice (tj. druhu vnikacího tělíska) závisí hlavně na předpokládané tvrdosti zkoušeného materiálu.



a)



b)



c)

Obr. 6.2 Ukázka Rockwellova tvrdoměru [8];
a) přístroj, b) stupnice, c) vnikací tělísko

HRA - tvrdost určená diamantovým kuželem při celkovém zatížení 600 N pro slinuté karbidy a tenké povrchové vrstvy),

HRB - tvrdost určená ocelovou kuličkou (B = ball) při celkovém zatížení 1000 N (pro měkké kovy; 25 - 100 HRB),

HRC - tvrdost určená diamantovým kuželem (C = cone) při celkovém zatížení 1500 N (doporučuje se používat pro rozsah HRC=20 - 67).

- Kontrola přístroje

Před vlastním započítím měření provedeme kontrolu přístroje na normou daném referenčním materiálu. HRC rozměr kužele 120°, doba trvání t je v rozmezí 3-6 s, zatěžovací síla 1500 N.

Tab. 6.1 Kontrolní měření (kalibrace) tvrdoměru

Pořadí měření	Naměřená tvrdost HRC	Aritmetický průměr tvrdosti HRC	Stanovená tvrdost HRC ČSN	Vyhodnocení měření
1.	55,6	55,5	53,5	při skutečném měření je zapotřebí provést korekci výsledných hodnot o ± 2 HRC
2.	55,5			
3.	55,4			
4.	55,6			
5.	55,4			

6.1.2 Kontrola rovinnosti

Pro přesný a čistý stříh stroje je třeba při výrobě nožů kontrolovat jejich rovinnost. Geometrie nástroje pro stříhání je pevně daná. Největší vliv na stříh má střížná vůle stroje, udává se, že by měla být (2-10)% tloušťky střiženého materiálu, což bývá maximálně okolo 5 mm. Vůle musí být zachována v celé délce stříhu.

Rovinnost nožů v první řadě kontrolujeme vizuálně, poté za pomoci příměrné desky a spárových měrek.



a)



b)

Obr. 6.3 Pomůcky pro měření rovinnosti; a) příměrná deska, b) spárové měrky (0,05-1)mm

Nůž se kontroluje, jestli není prohnutý jak na výšku, tak i na šířku. Dovolená velikost prohnutí v obou případech po tepelném zpracování je 0,8 mm.

6.2 Naměřené hodnoty

Tvrдост

Nůž jako takový je stvořen jako oboustranný nástroj, proto jsem jednotlivé strany rozlišoval čísly I. a II..

Tab. 6.2 Měření tvrdosti na noži č.1 po tepelném zpracování

Pořadí měření	Místo měření	Naměřená tvrdost HRC	Průměrná hodnota	Korigovaná tvrdost +(-2)HRC
1.	čelní strana nože I.	59,8	59,8	57,8
2.		59,9		
3.		59,7		
4.		59,8		
5.		59,8		
1.	hřbetní strana nože I.	60,1	60,1	58,1
2.		59,9		
3.		60,1		
4.		60,2		
5.		60,2		
1.	čelní strana nože II.	59,9	60,0	58,0
2.		59,9		
3.		60,1		
4.		60,0		
5.		60,1		
1.	hřbetní strana nože II.	60,2	60,2	58,2
2.		60,3		
3.		60,1		
4.		60,1		
5.		60,3		

Porovnání naměřených tvrdostí s požadavkem od zadavatele

Zkouška tvrdosti jsem provedl podle normy ČSN EN ISO 2639 zkušební metodou dle Rockwella ČSN EN ISO 6508-1 na noži č.1 pro tabulové nůžky z materiálu 19 452 kaleného a popouštěného na tvrdost 58-1HRC a je v požadované toleranci.

Tab. 6.3 Měření tvrdosti na noži č.2 po tepelném zpracování

Pořadí měření	Místo měření	Naměřená tvrdost HRC	Průměrná hodnota	Korigovaná tvrdost +(-2)HRC
1.	čelní strana nože I.	59,3	59,5	57,5
2.		59,8		
3.		59,1		
4.		60,1		
5.		59,1		
1.	hřbetní strana nože I.	59,9	59,6	57,6
2.		59,3		
3.		59,3		
4.		59,5		
5.		59,9		
1.	čelní strana nože II.	60,0	60,1	58,1
2.		60,1		
3.		60,1		
4.		60,2		
5.		60,1		
1.	hřbetní strana nože II.	60,0	60,2	58,2
2.		60,4		
3.		60,0		
4.		60,4		
5.		60,4		

Porovnání naměřených tvrdostí s požadavkem od zadavatele

Zkouška tvrdosti jsem provedl podle normy ČSN EN ISO 2639 zkušební metodou dle Rockwella ČSN EN ISO 6508-1 na noži č.2 pro tabulové nůžky z materiálu 19 452 kaleného a popouštěného na tvrdost 58-1HRC a je v požadované toleranci.

Tab. 6.4 Měření tvrdosti na noži č.3 po tepelném zpracování

Pořadí měření	Místo měření	Naměřená tvrdost HRC	Průměrná hodnota	Korigovaná tvrdost +(-2)HRC
1.	čelní strana nože I.	59,9	59,6	57,6
2.		59,9		
3.		59,5		
4.		59,3		
5.		59,3		
1.	hřbetní strana nože I.	60,1	60,1	58,1
2.		59,9		
3.		60,1		
4.		60,2		
5.		60,2		
1.	čelní strana nože II.	60,0	60,2	58,2
2.		60,4		
3.		60,0		
4.		60,4		
5.		60,4		
1.	hřbetní strana nože II.	60,2	60,2	58,2
2.		60,3		
3.		60,1		
4.		60,1		
5.		60,3		

Porovnání naměřených tvrdostí s požadavkem od zadavatele

Zkouška tvrdosti jsem provedl podle normy ČSN EN ISO 2639 zkušební metodou dle Rockwella ČSN EN ISO 6508-1 na noži č.3 pro tabulové nůžky z materiálu 19 452 kaleného a popouštěného na tvrdost 58-1HRC a je v požadované toleranci.

Tab. 6.5 Měření tvrdosti na noži č.4 po tepelném zpracování

Pořadí měření	Místo měření	Naměřená tvrdost HRC	Průměrná hodnota	Korigovaná tvrdost +(-2)HRC
1.	čelní strana nože I.	60,1	60,1	58,1
2.		59,9		
3.		60,1		
4.		60,2		
5.		60,2		
1.	hřbetní strana nože I.	60,4	60,2	58,2
2.		60,4		
3.		60,4		
4.		60,0		
5.		60,0		
1.	čelní strana nože II.	59,9	60,0	58,0
2.		59,9		
3.		60,1		
4.		60,0		
5.		60,1		
1.	hřbetní strana nože II.	60,1	60,0	58,0
2.		60,0		
3.		60,1		
4.		60,1		
5.		60,0		

Porovnání naměřených tvrdostí s požadavkem od zadavatele

Zkouška tvrdosti jsem provedl podle normy ČSN EN ISO 2639 zkušební metodou dle Rockwella ČSN EN ISO 6508-1 na noži č.4 pro tabulové nůžky z materiálu 19 452 kaleného a popouštěného na tvrdost 58-1HRC a je v požadované toleranci.

Tab. 6.6 Měření tvrdosti na noži č.5 po tepelném zpracování

Pořadí měření	Místo měření	Naměřená tvrdost HRC	Průměrná hodnota	Korigovaná tvrdost +(-2)HRC
1.	čelní strana nože I.	59,8	59,8	57,8
2.		59,9		
3.		59,7		
4.		59,8		
5.		59,8		
1.	hřbetní strana nože I.	59,9	59,6	57,6
2.		59,6		
3.		59,8		
4.		59,1		
5.		59,4		
1.	čelní strana nože II.	60,2	60,2	58,2
2.		60,3		
3.		60,1		
4.		60,3		
5.		60,1		
1.	hřbetní strana nože II.	59,9	60,0	58,0
2.		60,1		
3.		60,1		
4.		60,0		
5.		59,9		

Porovnání naměřených tvrdostí s požadavkem od zadavatele

Zkouška tvrdosti jsem provedl podle normy ČSN EN ISO 2639 zkušební metodou dle Rockwella ČSN EN ISO 6508-1 na noži č.5 pro tabulové nůžky z materiálu 19 452 kaleného a popouštěného na tvrdost 58-1HRC a je v požadované toleranci.

Tab. 6.7 Měření tvrdosti na noži č.6 po tepelném zpracování

Pořadí měření	Místo měření	Naměřená tvrdost HRC	Průměrná hodnota	Korigovaná tvrdost +(-2)HRC
1.	čelní strana nože I.	60,1	60,1	58,1
2.		59,9		
3.		60,1		
4.		60,2		
5.		60,2		
1.	hřbetní strana nože I.	59,6	59,9	57,9
2.		60,0		
3.		59,8		
4.		59,9		
5.		60,0		
1.	čelní strana nože II.	59,7	59,8	57,8
2.		59,7		
3.		59,8		
4.		59,8		
5.		59,9		
1.	hřbetní strana nože II.	60,0	60,0	58,0
2.		59,9		
3.		60,0		
4.		60,0		
5.		60,0		

Porovnání naměřených tvrdostí s požadavkem od zadavatele

Zkouška tvrdosti jsem provedl podle normy ČSN EN ISO 2639 zkušební metodou dle Rockwella ČSN EN ISO 6508-1 na noži č.6 pro tabulové nůžky z materiálu 19 452 kaleného a popouštěného na tvrdost 58-1HRC a je v požadované toleranci.

6.3 Rovnání nožů

Ze vsázky 6 ks se po tepelném zpracování Zdeformovali dva nože na výšku a z toho jeden na šířku.

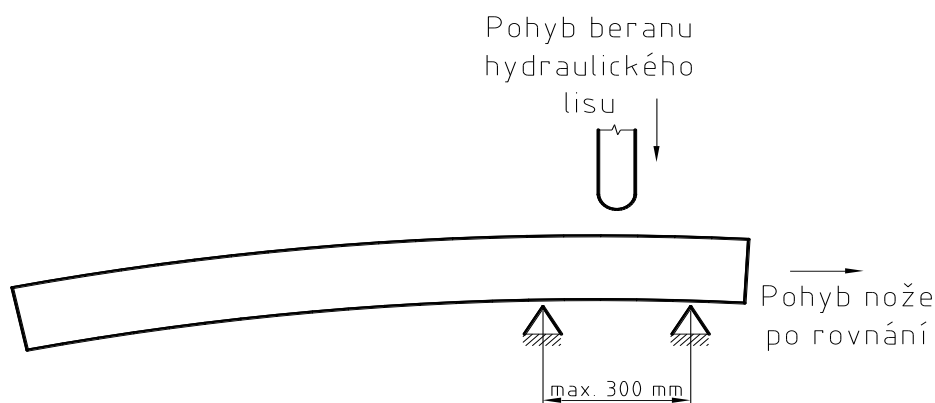
Pro rovnání jsem využil dvou kroků: - hydraulického lisu
- manuálně za pomoci speciálního ručního kladiva

Rovnění deformovaných nožů jsem prováděl tak dlouho, dokud se nepodařilo prohnutí snížit na hranici tolerance, nebo dokonce pod ní, nejvíce však o 0,5 mm do opačného směru. Na hydraulickém lise jsem doporučil záměrně vytvářet předepnutí, protože po uvolnění beranu lisu se materiál o nějakou část vrátí zpět díky paměti materiálu.

V případě, že by deformace byly až na tolik velké a neodstranitelné, navrhuji nůž upnout do přípravku s předepnutím 0,5 mm a takto jej zařadit na začátek cyklu tepelného zpracování (žihání, kalení a popouštění). V průběhu mého tepelného zpracování vsázky této metody rovnání nebylo zapotřebí.

6.3.1 Rovnání hydraulickým lisem

Nůž se umístí v poloze na výšku na stůl hydraulického lisu. Opěrné hranoly se od sebe rozmístí maximálně do vzdálenosti 300 mm. Poté se nůž zajistí třmeny z důvodu bezpečnosti. Schéma viz obr 6.4.

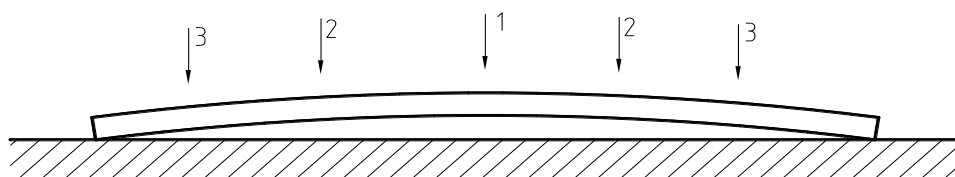


Obr. 6.4 Schéma rovnání nože pomocí hydraulického lisu

Rovnění začne od kraje nože a poté se postupuje po celé délce, dokud se nepodaří nůž vyrovnat. Pro přímou kontrolu rovnání je k dispozici číselníkový úchylkoměr s přesností třídy I., takže se okamžitě může zvolit velikost předepnutí potřebného ke srovnání nože.

6.3.2 Manuální rovnání nožů

Touto metodou jsem navrhl rovnání nože naplocho. Rovnání probíhá za pomoci ručního kladiva s napájeným ostřím z tvrdokovu (viz obr. 6.6a). Počátek rovnání je v místě největšího prohnutí a postupně se z tohoto místa směřuje k okrajům nože, jak je zřejmé z obr. 6.5. Manuální rovnání jsem doporučil provádět do té doby, než se dostaneme na požadovanou toleranci (0,8 mm). Zásеky vzniklé od kladiva do materiálu zakaleného a popuštěného na 58 HRC mají mít maximálně hloubku (0,1-0,15)mm viz obr. 6.6b.



*Obr. 6.5 Schéma průběhu manuálního rovnání nožů
Šipky s čísly naznačují postup vyrovnávání pomocí kladiva.*



a)



b)

Obr. 6.6 Manuální rovnání nožů; a) rovnací kladivo s napájeným ostřím z tvrdokovu; b) záseky v noži vytvořené při rovnání kladivem

7 Závěr

Tato práce, zahrnující tepelné zpracování nožů z nástrojových ocelí s následným rovnáním, ukazuje na podstatnou návaznost jednotlivých operací. Základem pro správné řešení je již samotná volba materiálu, ze kterého se mají nože zhotovovat. Nesprávná volba může mít negativní důsledky, pro které by již v průběhu výroby nástroje bylo provedení některých operací obtížné, až nemožné. Mimo jiné, výrobky zhotovené z nesprávného materiálu, které se dostanou do provozu, mívají nízkou životnost a vysokou poruchovost.

Důležitým bodem předvýroby je dělení materiálu, s ohledem na pozdější vznik deformací vlivem tepelného zpracování. Nedodržení technologické kázně při dělení materiálu má za následek nevratné zkroucení nožů během tepelného zpracování, čímž můžeme nože zařadit mezi neshodné výrobky a tím se nám navýší výrobní náklady (zmetkové výrobky mají pouhou cenu šrotu).

Zadavatel (výrobce nožů tabulových nůžek) zvolil pro tepelné zpracování společnost SUB Zábřeh, z důvodů možností provozu a používané technologie. Kapacita pecí dovoluje tepelné zpracování i poměrně dlouhých součástí, v ochranné atmosféře až do délek 2000 mm, běžný ohřev do délek 3500 mm.

Práce se může stát přínosem v oblasti tepelného zpracování, převážně v oblasti kalení a popouštění nástrojových ocelí pro práci za studena s následným rovnáním. Podrobný postup tepelného zpracování ukazuje, že starší návrhy z literatury pro provedení jednotlivých operací jsou aktuální i v dnešní době. Jediné, co lze v této oblasti nyní inovovat, je zpřesnění regulace teploty pecí.

Kompletní proces výroby nožů z nástrojových ocelí pro tabulové nůžky, v této práci popsány, je vyhovující. Z hlediska efektivnosti a hospodárnosti jsou jednotlivé úkony vyvážené. Povedlo se dosáhnout všech zadaných podmínek, deformace se snížili o víc jak 50%. Proto byl zařazen mezi standardně používané procesy. Při současné technologii není snadné žádnou z použitých operací dále optimalizovat vzhledem k ekonomickým možnostem (nárůst investic na vývoj a výrobu).

Seznam literatury, prameny

- 1 *Firemní stránky Slováckých strojíren, a.s.* [online], změněno 30. září 2005 [cit. 2009-5-8], dostupné z: <<http://www.sub.cz/cz/ofirme.htm>>
- 2 *Elektrické odporové vozové pece Realistic* [online], změněno 10. května 2009 [cit. 2009-5-8], dostupné z: <<http://www.realistic.cz/novinky/elektricka-odporova-vozova-pec>>
- 3 MOHYLA, M. *Strojírenské materiály I.*; 2006 Ostrava; dotisk 2. vydání; 146 str.; ISBN-80-248-0270 8
- 4 SMOLÍNG, K. *Tepelné a chemicko-tepelné spracovanie v príkladou.* 1. vyd.; Bratislava: Alfa; 1989; 384 s.; ISBN 80-05-00093-6 2
- 5 *Binární diagram železo-uhlík* [online], změněno 28. dubna 2009 [cit. 2009-5-8], dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Bin%C3%A1rn%C3%AD_diagram_%C5%BEElezo-uhl%C3%ADk>
- 6 PŘIBYL, R.; ENGST, A.; EICHLER, V.; PRUCHA, J.; ESTERKA, B.; KRAJČÍK, J. *Nástrojové oceli POLDI a jejich použití 1.díl.* 1. vyd.; Kladno: POLDI-SONP; 1986; 412 s., ISBN 06-082-86 4
- 7 DORAZIL, E.; HRSTKA, J. *Strojírenské materiály povrchové úpravy.* 1. vyd.; Brno: VUT; 1985; 330 s.; ISBN 55-599-85 3
- 8 *Reckwelluv tvrdoměr* [online], změněno 30. července 2005 [cit. 2009-5-8], dostupné z: <<http://www.quido.cz/mereni/rockwell.htm>>
- 9 JECH, J. *Tepelné zpracování ocelí.* Praha: SNTL; 1983
- 10 PŘIBYL, R.; ENGST, A.; EICHLER, V.; PRUCHA, J.; ESTERKA, B.; KRAJČÍK, J. *Nástrojové oceli POLDI a jejich použití 2.díl.* 1. vyd.; Kladno: POLDI-SONP; 1986; 244 s., ISBN 06-098-86

Seznam příloh

Číslo přílohy	Název	Poznámka
Příloha č. 1	MM 5/2500	nůž (62x22-640)mm
Příloha č. 2	NTH 3150/20	nůž (120x36-800)mm
Příloha č. 3	CNTA 4050/10A	nůž (100x30-820)mm
Příloha č. 4	NTA 3150/10A	nůž (90x25-1055)mm
Příloha č. 5	CNTA 3700/6,3	nůž (80x19-925)mm
Příloha č. 6	Izotermický rozpad austenitu	pro oceli 19 312, 19 313, 19 452 a 19 733
Příloha č. 7	Tvrdost v závislosti na kalicí teplotě	pro oceli 19 312, 19 313, 19 452 a 19 733
Příloha č. 8	Tvrdost v závislosti na popouštěcí teplotě	pro oceli 19 312, 19 313, 19 452 a 19 733